

ТОТ ИМЕЮТ ВИД $\omega_{1,2}^2 = \pm \sqrt{2 \frac{C_{1,2}^2}{m_1 \cdot m_2} - \nu_1^2 \nu_2^2}$.

Вывод: Наибольшее отличие ω от ν будет вблизи равенства парциальных частот. Принимая собственные частоты силовой и управляющих систем $\nu_1 \gg \nu_2$ различными на порядки, можно считать корректным частотную настройку динамической системы упругой опоры по её парциальным системам.

Список литературы: 1. Гапонов В.С., Наумов А.И. Математическая модель упругой опоры с управляемой квазиулево́й жесткостью для подшипников высокоскоростных роторных систем. 2. Гапонов В.С., Гайдамака А.В., Гладышева Е.Ю. Аналитический обзор литературы по вопросам конструктивного обеспечения динамической устойчивости высокоскоростных роторных систем // Вестник НТУ "ХПИ". Тем. Вып. "Машиноведение и САПР". – 2010. – №19. – С.39-44. 3. Гапонов В.С., Калинин П.М. Пасивна віброзахисна система з керованою квазіулево́вою жорсткістю. Патент на винахід 62934 Україна – 2004. Бюл.№1. 4. Гапонов В.С., Наумов А.И. Упругая опора подшипников ротора с управляемым изменением квазиулево́й жесткости // Вісник НТУ"ХПІ". – 2010. – №33. – С. 68-73.

Поступила в редколлегию 21.05.12

УДК 621.833.38

Е.А. ГУДОВ, ведущий инженер-конструктор по редукторостроению ОАО "ЭЗТМ", Электросталь, Московская обл., Россия;
С.А. ЛАГУТИН, к.т.н., ведущий конструктор ОАО "ЭЗТМ";
С.В. МОРОЗОВ, инженер-конструктор ОАО "ЭЗТМ"

НОВЫЕ РЕДУКТОРЫ ПРИВОДОВ ОБОГАТИТЕЛЬНОГО И ЦЕМЕНТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье рассмотрены конструкторские разработки и технологические возможности Электростальского завода тяжелого машиностроения в области создания, модернизации и ремонта редукторного привода, как для металлургического, прокатного и обогатительного оборудования, так и для шаровых мельниц, печей и другого оборудования цементной промышленности.

Розглянуті конструкторські розробки та технологічні можливості Електростальського заводу важкого машинобудування в галузі створення, модернізації та ремонту редукторного приводу як для металургійного, прокатного та збагачувального обладнання, так і для кульових млинів, печей та іншого обладнання цементної промисловості.

The paper deals with the design development and technological capabilities of Electrostal Plant of Heavy Machinery in the creation, modernization and repair of the gear drive for rolling mills, metallurgical, and mineral processing equipment as well as for ball mills, furnaces and other equipment of the cement industry.

Основная программа и технический уровень редукторного производства. В рамках международного разделения труда между странами-участниками СЭВ Электростальский завод тяжелого машиностроения (ЭЗТМ) был специализирован, прежде всего, на производстве прокатного и трубопрокатного оборудования.

Одним из наиболее ответственных узлов этого оборудования являются высоконагруженные зубчатые передачи различных типов. Способность завода изготавливать их на должном техническом уровне определила саму возможность изготовления таких машин, как редукционные станы с дифференциально-групповым приводом, трехвалковые клетки калибровочных станов, высокоскоростные чистовые блоки сортовых станов. С учетом этого обстоятельства в течение многих лет отрабатывались технологические процессы изготовления зубчатых деталей, формировался парк зубообрабатывающих станков, инструмента, измерительных машин и термического оборудования.

В КБ редукторостроения завода были разработаны и реализованы свыше 3400 проектов различных редукторов массой от 10кг до 90 тонн. Среди этих проектов – уникальные редукторы главного привода для таких крупных объектов, как прокатные агрегаты для производства бесшовных труб в Первоуральске, Челябинске и в Румынии, сортопроволочный стан завода "Электросталь", сортобалочный стан 700 для Нигерии, шаропрокатные станы для Гурьевска и Бекабада, Мексики и Индии, кольцепрокатный стан для фирмы "Тимкен" (США) [1, 2]. Последними крупными достижениями в этом ряду были редукторы привода мощностью 4000 кВт прошивного стана Северского трубного завода (2006г.) и стана холодной прокатки труб ХПТ 350-8 для Китая (2009г.) [3].

Разработаны также разнообразные типовые редукторы, работающие в составе трубоэлектросварочных агрегатов, внутрицеховых транспортных устройств, а также металлургического, горно-шахтного, и другого оборудования. Среди них, например, тяжелые шевронные редукторы, такие как редуктор Ц2Ш-1120 с моментом до 700 кН·м для привода дробилок титановой губки.

Основным показателем технического уровня зубчатого редуктора общемашиностроительного применения считается его удельная материалоемкость:

$\gamma = m/T_n$, где m – масса редуктора, кг, T_n – номинальный крутящий момент на тихоходном валу, кГ·м [4].

Показатель этот зависит от многих факторов: требуемой конструктивной схемы, передаточного числа, режима и ресурса работы, не в последнюю очередь от мастерства конструктора, но, прежде всего, от заложенных методов термической и последующей механической обработки зубьев.

С учетом технологических возможностей зубообрабатывающего и термического оборудования редукторы ЭЗТМ по их техническому уровню можно ориентировочно разбить на следующие четыре группы (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики технического уровня

№	Вид термо-обработки	Финишная механообработка	D_a , мм, не более	a_{wT} , мм, не более	Масса, кг, не более	T_n , кГ·м, не более	γ кг/кГ·м
1.	Цементация HRC 54...62	Шлифовка зубьев	1200	710	12 500	45 000	0,28
2.	Закалка ТВЧ HRC 42...55	Шлифовка или чистовая зубо-фрезеровка	1600	1000	14 000	28 000	0,5
3.	Улучшение HB 270...300	Чистовая зубо-фрезеровка	2800	1800	80 000	80 000	1,0
4.	Нормализация HB≤217	Зубо-фрезеровка	8000	-	-	-	≥2

В этой таблице D_a – диаметр вершин зубьев наибольшего из колес, a_{wT} – межосевое расстояние тихоходной ступени. Приведенные цифры относятся к однопоточным двух- или трехступенчатым, цилиндрическим и цилиндрическо-коническим редукторам.

На других машиностроительных заводах имеют место аналогичные группы технического уровня, но границы между ними в зависимости от характеристик имеющегося оборудования могут быть сдвинуты в ту или другую сторону. На свободном рынке при поставке редукторов в качестве самостоятельной продукции, конкурентоспособными могут быть только редукторы 1 и 2 групп.

Привод пластинчатых питателей. Среди повторяющейся продукции ЭЗТМ к наиболее удачным техническим решениям относятся коническо-цилиндрические редукторы типов ЦКЦ2-1000 ($m=11500$ кг, $T_n=240$ кН·м) и ЦКЦ2-800 ($m=7890$ кг, $T_n=150$ кН·м) (рисунок 1). Они используются для привода пластинчатых питателей, были запущены в производство более 20 лет назад и успешно работают на горных карьерах и обогатительных фабриках от Норильска до Навои.

В этих редукторах все цилиндрические шестерни и колесо быстроходной ступени выполнены с закалкой ТВЧ и шлифовкой зубьев, а тихоходные колеса – с объемной закалкой. Конические передачи выполнены с цементированными и шлифованными круговыми зубьями. Интерактивная оптимизация основных геометрических параметров методами, изложенными в работе [5], обеспечила равнопрочность всех ступеней, как по изгибной, так и по контактной выносливости.

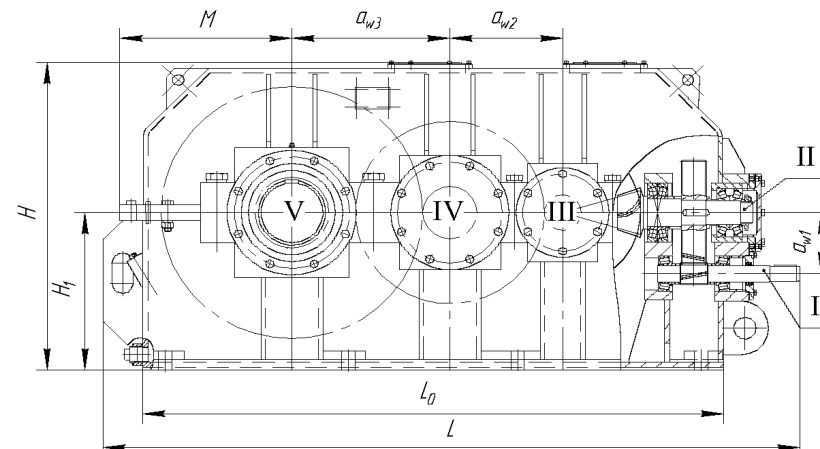


Рисунок 1 – Редукторы типа ЦКЦ2 привода пластинчатых питателей

Технический уровень этих редукторов не уступал редукторам иномар и заметно превышал уровень отечественных редукторов этого класса. Так, по показателю γ редуктор ЦКЦ2-800 превосходил близкий по габаритам серийный редуктор КЦ2-1300 завода им. Котлякова более чем в 3 раза.

Однако новое время выдвигает новые требования, и с 2009 года завод приступил к производству новых редукторов типов ЦКЦ2-630 и ЦКЦ2-560, масса которых при той же нагрузочной способности снижена в 1,6-1,8 раза по сравнению с их предшественниками. Такое повышение технического уровня достигнуто, прежде всего, за счёт того, что новая цементационная печь диаметром 1200мм позволила повысить твердость зубьев всех передач до 58...62 HRC [6].

Основные параметры всех четырех типоразмеров приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные размеры и характеристика редукторов типа ЦКЦ2

Типоразмер	Размеры, мм						T_2 , кН·м	Масса, кг
	a_{w1}	a_{w2}	a_{w3}	L_0	B	H		
ЦКЦ2 – 800	250	500	800	2675	920	1580	150	7886
ЦКЦ2 – 560	225	400	560	2060	760	1138	150	4810
ЦКЦ2-1000	280	630	1000	3215	1140	1950	250	12365
ЦКЦ2 – 630	250	450	630	2300	900	1275	250	6616

Освоение рынка приводов цементного оборудования. С приходом в начале 90-х годов новых экономических отношений завод активно дополняет основную программу поставкой запасных частей к оборудованию других

заводов, прежде всего прокатному, и осваивает новые рынки для поставки нашей продукции.

В этой связи большой интерес для завода представляет рынок оборудования и запасных частей для российской цементной промышленности.

В цементном оборудовании, прежде всего, в приводе печей и шаровых мельниц используются крупные цилиндрические редукторы с крутящим моментом на тихоходном валу от 150 до 1800 кНм. В советское время они производились в основном заводом "Волгоцеммаш". На этом рынке активно действовала также восточногерманская фирма SKET, которая, в частности, для привода шаровых мельниц Ø2,6×13м поставила к 1989 году свыше 320 редукторов типа D-3500 в нескольких модификациях [7].

С 2004 года ЭЗТМ начал осваивать производство аналогичного оборудования.

Освоение этого сектора началось с поставки запасных частей к редукторам привода печей и мельниц, работающим на различных цементных заводах.

В качестве запасных частей для привода цементных мельниц к редукторам типа "Симметро" производства "Волгоцеммаш" ЭЗТМ неоднократно изготавливал зубчатые блоки шевронных колес с зацеплением Новикова – полный комплект для редуктора А-2800 и быстроходные блоки для редуктора А-3600. Такие блоки поставлялись нами на ОАО "Щуровский цемент" ОАО "Восток-Цемент", ЗАО "Мальцовский портландцемент", ЗАО "Кавказцемент" и т.д.

Нами был освоен выпуск запасных шевронных зубчатых блоков к таким широко известным редукторам производства ГДР как ZM-1600 и 40A7 главного привода мельниц Ø3×14 и D-3500 и DD-3500 привода мельниц Ø2,6×13. При этом мы столкнулись с тем, что в первых модификациях этих редукторов применялось зубчатое зацепление "Зандерленд", нарезаемое на специальных зубодолбежных станках со стандартными торцовыми модулями, углом зацепления 17°30', углом наклона зуба 30° и узкой (b=10мм) канавкой между полушевронами. Такое зацепление нельзя воспроизвести на зубофрезерных станках, работающих червячными фрезами по методу обкатки. Поэтому мы должны были модернизировать эти блоки, пересмотрев параметры зацепления и компенсировав неизбежное уменьшение ширины полушевранов использованием более качественных сталей с более высокой термообработкой. Модернизированные зубчатые блоки поставлены на предприятия "Себряковцемент", "Белгородский цемент" и другие.

Одновременно были разработаны проекты редукторов, способных заменить эти морально устаревшие и физически изношенные редукторы производства ГДР. В 2005-2006 годах взамен шевронных редукторов ZM-1600 и 40A7 был разработан редуктор ЦЗ-1800 с суммарным межосевым расстоянием 3950мм, который может быть установлен на имеющиеся фундаменты без переноса анкерных болтов и электродвигателя. Разработан также проект редуктора ЦЗ-1600, не уступающего по своим техническим характеристикам ZM-1600, но с суммарным межосевым расстоянием, уменьшенным до 3500мм, что позволило снизить его массу на 25%.

В 2007 году нами был спроектирован и изготовлен трехступенчатый цилиндрический редуктор ЦТ-3230 главного привода новой вращающейся печи

Ø4,5×170. Этот редуктор поставлен и успешно эксплуатируется на ПРУП "Кричевцементношифер" (Беларусь).

Таблица 3 – Техническая характеристика редуктора ЦТ-3230

Передачное число	116,7
Момент крутящий на тихоходном валу при ПВ 100%, кНм, не более	840
Частота вращения быстроходного вала, об/мин, не более	750
Степень точности шевронных передач	8-В ГОСТ 1643-81
Смазка зацепления и подшипников	централизованная

В 2009 году с учетом ряда пожеланий заказчиков разработан технический проект редуктора АС-3500, на тихоходном валу которого крутящий момент составляет 500 кН·м при массе 55 тонн. Этот редуктор спроектирован взамен редукторов D-3500 и DD-3500. В нем сохранена возможность установки в приводе мельниц Ø2,6×13 без переноса электродвигателя.



Рисунок 2 – Привод вращающейся печи Ø4,5×170м с редуктором ЦТ-3230

Редуктор привода цементной мельницы Ø3,2×15. Одним из наиболее мощных редукторов, применяемых в цементной промышленности, является одноступенчатый шевронный цилиндрический редуктор ЦО-2400 производства "Волгоцеммаш", используемый в приводе цементных мельниц Ø3,2×15. Привод осуществляется от электродвигателя мощностью 2000 кВт с числом оборотов 100 об/мин. Масса редуктора – 103 тонны, из них 45 тонн – масса тихоходного колеса диаметром Ø4144. Расчетный крутящий момент на выходном валу – 1120 кН·м, передаточные числа $U=5,9$ и $U=5,53$. "Волгоцеммашем" был изгото-

товлен 231 редуктор этого типоразмера и в результате физического износа все они либо уже нуждаются или в скором времени будут нуждаться в замене.

Изготовление на ЭЗТМ такого редуктора в целом и его тихоходного колеса в частности вызывает серьезные технологические трудности и необходимость выполнения значительной части работы по линии внешней кооперации. В этой связи ОГК ЭЗТМ были разработаны два проекта возможной замены данного редуктора, которые были бы ориентированы на использование собственных мощностей завода, обеспечили требуемую техническую характеристику привода, уменьшение массы и цены редуктора, и по возможности его взаимозаменяемость с редуктором ЦО-2400 по основным присоединительным размерам.

Сравнительный анализ выполненных технических проектов показал, что:

1. При сохранении одноступенчатой схемы редуктора оптимизация его геометрических параметров позволила уменьшить его межосевое расстояние до 2100мм и диаметр тихоходного колеса до 3620мм, обеспечив соответствующее уменьшение массы редуктора в целом и тихоходного колеса в частности. Однако уменьшение габаритов по отношению к редуктору ЦО-2400 приводит к тому, что его использование для замены привода действующих мельниц потребует от Заказчика замены фундамента или изготовления промежуточной рамы.

2. Замена одноступенчатого редуктора двухступенчатым Ц2-1560 (рисунок 3) с суммой межосевых расстояний $1132+1560=2692$ и V-образным расположением валов позволила сохранить расстояние между входным и выходным валами равным межосевому расстоянию редуктора ЦО-2400, что существенно

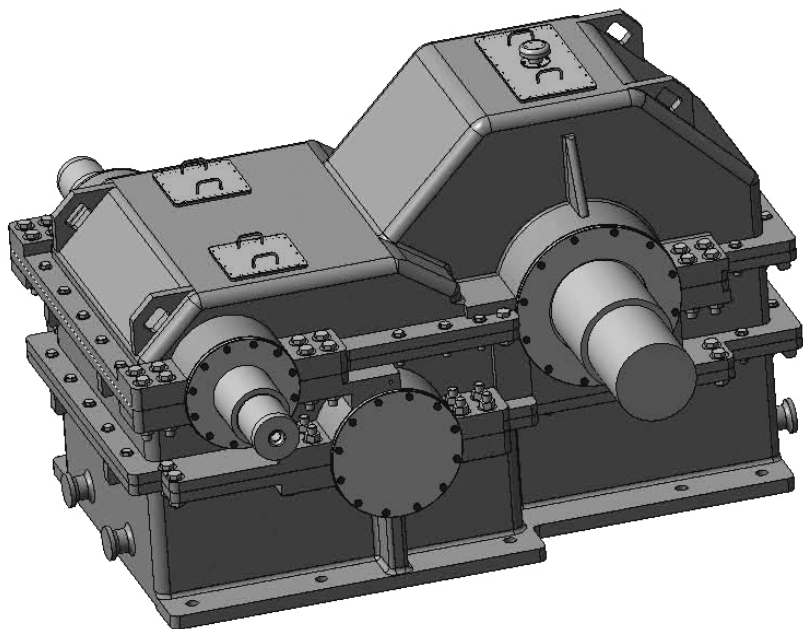


Рисунок 3 – Редуктор Ц2-1560 привода цементных мельниц Ø3,2×15

повышает вероятность спроса на этот редуктор. Одновременно эта замена позволила уменьшить массу редуктора до 80 тонн по сравнению с 103т. редуктора ЦО-2400, а наружный диаметр колеса тихоходной ступени – до 2253мм, что обеспечит возможность его изготовления на ЭЗТМ. Такой редуктор имеет гораздо большую вероятность спроса на рынке приводов цементного оборудования.

На сегодняшний день конструкторским бюро редукторостроения разрабатываются проекты главных приводов мельниц Ø3×14м и Ø2,6×13м. Основные редукторы этих приводов будут изготавливаться с цементированными и шлифованными зубчатыми колесами в сварном корпусе. Такой вариант исполнения редукторов позволит добиться снижения их массы в 1,5...2 раза.

Для привода горизонтальных цементных печей кроме редукторов необходимы крупные открытые зубчатые передачи. За последние годы ЭЗТМ изготовил и поставил 23 зубчатых венца таких передач. Наиболее крупные венцы с модулем 45мм, наружным диаметром около восьми метров и массой более 40 тонн были поставлены ЗАО "ЕВРОЦЕМЕНТ" и в Беларусь. Меньшие зубчатые венцы с модулями от 20 до 40мм и диаметрами от 4 до 7 метров поставлялись различным заказчикам, в том числе в Египет. Изготовлены были также несколько десятков подвенцовых шестерен, как отдельными деталями, так и в составе узлов.

Наше предприятие выполняет мониторинг наиболее ответственного оборудования собственного изготовления и всегда готово оказать техническую помощь Заказчикам. При разработке новых проектов нашими техническими специалистами учитываются все пожелания и предложения Заказчика.

Выводы. Для того чтобы тяжело нагруженные многоступенчатые редукторы металлургического, обогатительного и цементного оборудования соответствовали сегодняшнему мировому уровню, требуется соблюдение двух условий.

1. Оптимизация геометрических параметров передач, как между ступенями, так и внутри каждой из них.
2. Выполнение всех зубчатых передач с высокотвердыми, цементированными и шлифованными зубьями.

Список литературы: 1. Ковтушенко А.А., Копылов А.Ф., Лагутин С.А. Редукторы трубопрокатного оборудования // Вестник машиностроения, 1985. – №10. – С.43-47. 2. Ковтушенко А.А. и др. Комбинированные редукторы прокатных станов // Тяжелое машиностроение. – 2005. – №3. – С.13-15. 3. Ковтушенко А.А., Копылов А.Ф., Лагутин С.А. Совершенствование привода прокатных станов // Черная металлургия. – 2007. – №3. – С.52-54. 4. Снесарев Г.А. Оптимизация зубчатых редукторов // Вестник машиностроения. – 1985. – №9. – С.30-35. 5. Ковтушенко А.А., Лагутин С.А., Мунтян В.В. Вопросы оптимизации редукторов металлургического оборудования // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1993. – №6. – С.29-34. 6. Lagutin S., Chirkov S., Klochkov A. Third Generation of Apron Feeder Drives // Proc. of the 8th International Congress "Machines, Technologies, Materials", Varna, Bulgaria, 2011, pp.26-27. 7. Блоссфельдт Х., Гжибовский А. Приводы шаровых мельниц // Цемент и его применение. – 2011. – №3. – С.123-125.

Поступила в редколлегию 31.05.12